

R flectiv -type soft x-ray microscop

Patent Number: ☐ US6522717
Publication date: 2003-02-18
Inventor(s): KONDO HIROYUKI (JP); MURAKAMI KATSUHIKO (JP)
Applicant(s): NIPPON KOGAKU KK (JP)
Requested Patent: ☒ JP2001116900
Application Number: US20000635466 20000811
Priority Number(s): JP19990227005 19990811; JP20000173427 20000609
IPC Classification: G21K7/00
EC Classification: G21K7/00
Equivalents:

Abstract

A reflective-type soft X-ray microscope includes an image-focusing optical system including a concave mirror and a convex mirror, an illumination optical system that has a light source, a filter, and a focusing optical element for transmitting an illumination light beam, and a stage mechanism that carries and moves a sample under observation. In the reflective-type soft X-ray microscope, the concave mirror has at least one opening part for transmitting the illuminating light beam that illuminates the sample, and a reflected image of the sample is focused on a soft X-ray image detector by the image-focusing optical system

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-116900
(P2001-116900A)

(43) 公開日 平成13年4月27日 (2001. 4. 27)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 2 1 K 7/00		G 2 1 K 7/00	2 G 0 0 1
G 0 1 N 23/20		G 0 1 N 23/20	
23/203		23/203	

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2000-173427(P2000-173427)

(22) 出願日 平成12年6月9日(2000. 6. 9)

(31) 優先権主張番号 特願平11-227005

(32) 優先日 平成11年8月11日(1999. 8. 11)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 村上 勝彦

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 近藤 洋行

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

Fターム(参考) 2G001 AA01 AA09 BA14 BA18 CA01

DA01 DA02 EA06 FA01 GA07

HA12 HA15 JA07 KA03 LA20

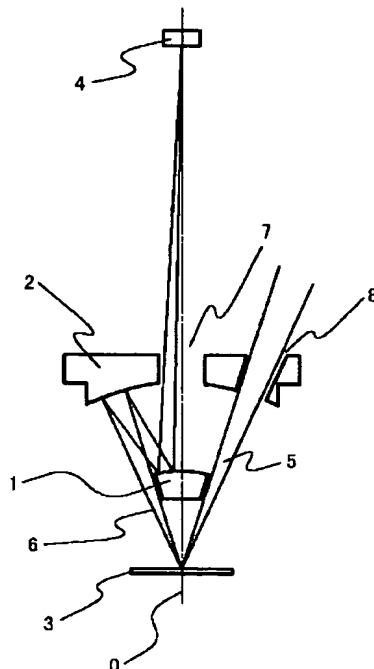
MA05 PA02 PA07 PA11 SA10

(54) 【発明の名称】 反射型軟X線顕微鏡

(57) 【要約】

【課題】 凸面鏡と凹面鏡を具備した結像光学系を用いて、試料を光軸にほぼ垂直に配置して、なおかつ反射型の配置で像を観察することのできる反射型X線顕微鏡を得る。

【解決手段】 シュバルツシルド光学系を構成する凸面鏡1と、照明光5が光学系で遮られるのを避けるための開口部8と絞リ9が設けられた凹面鏡2と、画像検出器4とを具備する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】凹面鏡と凸面鏡からなる結像光学系と、光源とフィルターと集光光学素子を有する照明光学系と、観察試料を載置し移動させるステージ機構を具備した軟X線顕微鏡において、前記凹面鏡に、試料を照明する照明用光束を通過させるための開口部が少なくとも一つ以上設けられ、試料の反射像を上記の結像光学系により軟X線画像検出器上に結像させることを特徴とする反射型軟X線顕微鏡。

【請求項2】試料表面が、前記結像光学系の光軸に対して、ほぼ垂直に配置されていることを特徴とする請求項1に記載の反射型軟X線顕微鏡。

【請求項3】前記結像光学系を構成する凹面鏡において、前記開口部を通過した照明用光束が試料で反射した後に入射する位置に、絞りを設けたことを特徴とする請求項1または請求項2に記載の反射型軟X線顕微鏡。

【請求項4】前記絞りが、前記凹面鏡表面の反射膜上に、絞りとなる開口部を残して遮光膜が形成されてなることを特徴とする請求項3に記載の反射型軟X線顕微鏡。

【請求項5】前記絞りが、該絞りとなる開口部にのみ反射膜を形成されてなることを特徴とする請求項3に記載の反射型軟X線顕微鏡。

【請求項6】前記絞りが、前記試料と前記凹面鏡表面との間に配置され、絞りとなる開口部を有する遮光性材料の基板または遮光性材料で被覆された基板で形成されることを特徴とする請求項3に記載の反射型軟X線顕微鏡。

【請求項7】前記結像光学系を構成する凸面鏡を支持する支柱が、試料を照明する照明用光束と、試料で反射した反射光束の、いずれも遮らないように配置されていることを特徴とする請求項1から請求項6のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡。

【請求項8】凹面鏡と凸面鏡からなる結像光学系と、光源とフィルターと集光光学素子を有する照明光学系と、観察試料を載置し移動させるステージ機構を具備した軟X線顕微鏡において、前記凹面鏡に、試料を照明する照明用光束を通過させるための開口部が少なくとも一つ以上設けられ、散乱光あるいは回折光による像を上記の結像光学系により軟X線画像検出器上に結像させることを特徴とする反射型軟X線顕微鏡。

【請求項9】試料表面が、前記結像光学系の光軸に対して、ほぼ垂直に配置されていることを特徴とする請求項8に記載の反射型軟X線顕微鏡。

【請求項10】前記結像光学系を構成する凹面鏡において、該凹面鏡表面には反射膜が形成され、前記開口部を通過した照明用光束が試料で反射した後に入射する位置のみに、反射光束を吸収する物質により遮光膜が形成されてなることを特徴とする請求項8または請求項9のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡。

【請求項11】前記結像光学系を構成する凹面鏡において、前記開口部を通過した照明用光束が試料で反射した後に入射する位置を除いて、反射膜が形成されてなることを特徴とする請求項8または請求項9のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡。

【請求項12】前記結像光学系において、前記凹面鏡と前記試料との間に、前記試料からの反射光束を遮光する遮光性材料の基板または遮光性材料で被覆された基板を配置することを特徴とする請求項8または9に記載の反射型軟X線顕微鏡。

【請求項13】前記結像光学系を構成する凸面鏡を支持する支柱が、試料を照明する照明用光束を遮らないように配置されていることを特徴とする請求項8から請求項12のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡。

【請求項14】前記照明光学系は、レーザープラズマ光源、放電プラズマ光源またはX線レーザー光源のいずれかの光源と、所定の波長の軟X線を選択的に透過するフィルターと、光源から発散した光束を集光する集光光学素子とを具備することを特徴とする請求項1から請求項13のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡。

【請求項15】前記照明光学系が、照明光を軟X線と可視光もしくは紫外光に切り替える手段を具備することを特徴とする請求項1から請求項14のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡。

【請求項16】前記照明光学系を複数備え、異なる波長をもつ複数の照明用光束は、それぞれが前記結像光学系を構成する凹面鏡に複数設けられた異なる開口部を通過して試料上に入射することを特徴とする請求項1から請求項15のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡。

【請求項17】前記結像光学系はシュバルツシルド光学系であることを特徴とする請求項1から16のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡。

【請求項18】請求項1から請求項17のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡により、軟X線縮小投影露光に用いられる反射マスクを、軟X線縮小投影露光で使用される波長の軟X線を用いて検査することを特徴とするマスク検査装置。

【請求項19】請求項18に記載のマスク検査装置において、反射光、回折光もしくは散乱光の強度を検出しながら試料上を走査し、検出強度の変化した領域で画像を取得することを特徴とするマスク検査装置。

【請求項20】基板上に軟X線を反射する多層膜を有する反射膜を形成する第1工程と、該反射膜上に軟X線を吸収する遮光膜を形成する第2工程と、さらに該遮光膜上にレジスト層を形成する第3工程と、該レジスト層に所望の反射もしくは遮光パターンを露光する第4工程と、前記レジスト層を現像して前記パターンを形成する第5工程と、前記現像されたレジスト層を保護膜として前記遮光膜をエッチングする第6工程を少なくとも具備して、前記パターンを基板上に形成する反射マスクの製

造方法であって、基板上に反射膜を形成する第1工程、レジスト層を現像して反射もしくは遮光パターンを形成する第5工程、および遮光膜をエッチングして前記パターンを形成する第6工程のうち、少なくとも1つ以上の工程において、請求項19に記載のマスク検査装置を用いて、前記反射膜、前記遮光膜、レジスト層あるいは反射マスクに形成された反射もしくは遮光パターンを検査する作業を具備することを特徴とする反射マスクの製造方法。

【請求項21】基板上に軟X線を反射する多層膜を有する反射膜を形成する第1工程と、該反射膜上にレジスト層を形成する第2工程と、該レジスト層に反射もしくは遮光パターンを露光する第3工程と、前記レジスト層を現像して前記パターンを形成する第4工程と、前記現像されたレジスト層を保護層として、レジスト層で被覆されていない部分に軟X線を吸収する無機化合物もしくは有機化合物あるいは有機物・無機物化合物の遮光膜を成膜する第5工程を、少なくとも具備して、前記パターンを基板上に形成する反射マスクの製造方法であって、基板上に反射膜を形成する第1工程、レジスト層を現像して反射もしくは反射防止パターンを形成する第4工程、および遮光膜を前記パターン状に成膜する第5工程のうち、少なくとも一つ以上の工程において、請求項19に記載のマスク検査装置を用いて、前記反射膜、前記遮光膜、レジスト層あるいは反射マスクに形成された反射もしくは遮光パターンを検査する作業を具備することを特徴とする反射マスクの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、軟X線を用いて試料の反射像を観察する反射型軟X線顕微鏡に関するものであり、また、当該反射型軟X線顕微鏡を用いて軟X線縮小投影露光用の反射マスクの欠陥を検査するマスク検査装置に関するものである。さらに、該マスク検査装置を用いた反射マスクの製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体集積回路素子の微細化の進展に伴い、光の回折限界によって制限される光学系の解像力を向上させるために、従来の紫外線に代わって、さらに波長の短い軟X線を使用した縮小投影リソグラフィ技術が開発されている。この技術においては、露光光源に10nm～15nmの波長の軟X線が使用される。

【0003】前記波長域では透明な物質が存在しないので、軟X線縮小投影リソグラフィ技術では、従来からの透過型のマスクではなく、反射型のマスクが使用される。該反射マスクは、十分な機械的強度および表面の平滑度を有する基板上に、多層膜で形成される軟X線を反射する反射膜を成膜し、さらにその上に軟X線を吸収する物質からなる層で所定の回路パターン形状を形成したものである。軟X線縮小投影露光技術においては、複数

の多層膜反射鏡等の光学素子で構成された投影結像光学系により、前記反射マスク上に形成されている回路パターンが、フォトリジストを塗布したウェハ上に結像され、該フォトリジストに転写される。なお、軟X線は大気中に吸収されて減衰してしまうため、その光路は全て所定の真空度に維持されている。

【0004】前記反射マスクの欠陥には、マスク表面に付着した異物や、回路パターンの欠けや余剰といった外觀上の欠陥の他に、反射膜自体の欠陥がある。前述のように反射膜は多層膜からなっており、その多層に積層された層間における界面のごく弱い反射光の位相を揃えることによって、全体として高い反射率を得ることができる。前記反射膜を成膜する前の基板自体の表面にある凹凸や、多層膜を積層する工程における異物の混入などにより、反射膜内部に局所的な段差を生じ、周期構造のずれた部分ができると、その部分で反射膜内部の光の位相関係がずれるので、局所的に反射率が低下することになる。ここで、位相差 2π は10～15nmの使用波長に相当するので、nmオーダーの局所的な段差が、反射率欠陥の原因となる。このような非常に小さい段差を、可視光や紫外線を用いた顕微鏡、あるいは電子顕微鏡などで観察することは極めて困難であった。

【0005】そこで、実際に軟X線縮小投影露光装置で使用する露光波長を用いれば、ウェハ上のフォトリジストに転写されてしまう欠陥を全て検出することができるので、前記反射マスクの欠陥検査においては、露光波長と同じ波長を用いて検査しなくてはならない。したがって、反射マスクの欠陥検査を行うためには、反射型の軟X線顕微鏡が必要となる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】軟X線を用いる顕微鏡には、透過型と反射型のものがあるが、前述の反射型の軟X線顕微鏡には、シュバルツシルド光学系が広く用いられている。図4に示すように、シュバルツシルド光学系は、一般的に凹面鏡2と凸面鏡1の二枚の同心球面の球面鏡からなる光学系である。凹面鏡2の中心には光線を通すための穴7が空いている。上記のように軟X線領域で使用する場合は、反射面に軟X線を反射する多層膜コーティングを施して使用する。

【0007】従来から、このようなシュバルツシルド光学系を使用して反射型顕微鏡を構成するためには、照明光束5と光学系鏡筒19の機械的干渉を防ぐために、図4に示すように、光軸0（光学系の回転中心軸）に対して試料の法線を傾けて配置しなければならなかった。そして、試料を光軸0に対して傾けて配置すると、光学系の焦点深度によって観察できる視野が制限されてしまうといった問題点があった。

【0008】ここで、光学系の回折限界の解像力（R）と焦点深度（DOF）は、開口数（NA）と波長（ λ ）によって決まり、次式で与えられることが知られてい

る。

$$R = 0.61\lambda / NA$$

$$DOF = \lambda / NA^2$$

例えば、波長が13nmの光源で70nmの解像力を得ようとする、NAは0.11となり、その時の焦点深度(DOF)は約1μmとなる。ここで、試料を45°傾けたとすると、その焦点深度によって制限される視野の幅は、わずか1.4μmとなる。試料を光軸に垂直に配置した場合には、光学系の寸法や倍率にもよるが、少なくとも数十μm以上の視野を確保することができる。

【0009】焦点深度によって制限された視野の外側の領域でもある程度結像はするが、像のボケが大きくなるので回折限界の解像力を得ることはできない。例えば、Optics Letters, Vol. 17, (1992) P. 157に、このような試料を傾けた配置でシュバルツシルド光学系を用いた軟X線顕微鏡の実験が報告されているが、#200メッシュ(ピッチ127μm)の像が見える程度であり、波長(18.2nm)と光学系のNA(0.1)から期待される解像力(0.1μm)には遠く及ばない。

【0010】本発明はこのような従来の問題点に鑑みてなされたものであり、シュバルツシルド光学系に代表される凹面鏡と凸面鏡からなる結像系を使用して、試料を光軸に垂直に配置して、なおかつ反射型の配置で像を観察することのできる反射型X線顕微鏡を提供することを目的とする。さらに、このような軟X線顕微鏡を用いた、軟X線縮小投影露光用反射マスクの欠陥検査装置を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決し目的を達成するために、請求項1に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、凹面鏡と凸面鏡からなる結像光学系と、光源とフィルターと集光光学素子を有する照明光学系と、観察試料を載置し移動させるステージ機構を具備した軟X線顕微鏡において、前記凹面鏡に、試料を照明する照明用光束を通過させるための開口部が少なくとも1つ以上設けられ、試料の反射像を上記の結像光学系により軟X線画像検出器上に結像させることを特徴としている。

【0012】請求項2に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、請求項1に記載の反射型軟X線顕微鏡において、試料表面が、前記結像光学系の光軸に対して、ほぼ垂直に配置されていることを特徴としている。

【0013】また、請求項3に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、請求項1または請求項2に記載の反射型軟X線顕微鏡の結像光学系を構成する凹面鏡において、前記開口部を通過した照明用光束が試料で反射した後に入射する位置に、絞りを設けたことを特徴としている。

【0014】請求項4に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、請求項3に記載の反射型軟X線顕微鏡に

おいて、前記絞りが、前記凹面鏡表面の反射膜上に、絞りとなる開口部を残して遮光膜が形成されてなることを特徴としている。

【0015】請求項5に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、請求項3に記載の反射型軟X線顕微鏡において前記絞りが、該絞りとなる開口部にのみ反射膜を形成してなることを特徴としている。

【0016】請求項6に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、請求項3に記載の反射型軟X線顕微鏡において、前記絞りが、前記試料と前記凹面鏡表面との間に配置され、前記絞りとなる開口部を有する遮光材料製基板または遮光材料で被覆された基板で形成されることを特徴としている。

【0017】請求項7に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、請求項1から請求項6のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡における前記結像光学系を構成する凸面鏡を支持する支柱が、試料を照明する照明用光束と、試料で反射した反射光束の、いずれも遮らないように配置されていることを特徴としている。

【0018】請求項8に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、凹面鏡と凸面鏡からなる結像光学系と、光源とフィルターと集光光学素子を有する照明光学系と、観察試料を載置し移動させるステージ機構を具備した軟X線顕微鏡において、前記凹面鏡に、試料を照明する照明用光束を通過させるための開口部が少なくとも一つ以上設けられ、散乱光あるいは回折光による像を上記の結像光学系により軟X線画像検出器上に結像させることを特徴としている。

【0019】請求項9に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、請求項8に記載の反射型軟X線顕微鏡において、試料表面が、前記結像光学系の光軸に対して、ほぼ垂直に配置されていることを特徴としている。

【0020】請求項10に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、請求項8または請求項9のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡の結像光学系を構成する凹面鏡において、該凹面鏡表面には反射膜が形成され、前記開口部を通過した照明用光束が試料で反射した後に入射する位置のみに、反射光束を吸収する物質により遮光膜が形成されてなることを特徴としている。

【0021】請求項11に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、請求項8または請求項9のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡の結像光学系を構成する凹面鏡において、前記開口部を通過した照明用光束が試料で反射した後に入射する位置を除いて、反射膜が形成されてなることを特徴としている。

【0022】請求項12に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、請求項8または9に記載の反射型軟X線顕微鏡の結像光学系において、前記凹面鏡と前記試料との間に、前記試料からの反射光束を遮光する遮光性材料の基板または遮光性材料で被覆された基板を配置する

ことを特徴としている。

【0023】請求項13に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、請求項8から請求項12のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡の結像光学系を構成する凸面鏡を支持する支柱が、試料を照明する照明用光束を遮らないように配置されていることを特徴としている。

【0024】請求項14に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、請求項1から請求項13のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡の照明光学系は、レーザープラズマ光源、放電プラズマ光源またはX線レーザー光源のいずれかの光源と、所定の波長の軟X線を選択的に透過するフィルターと、光源から発散した光束を集光する集光光学素子とを具備することを特徴としている。

【0025】請求項15に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、請求項1から請求項14のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡の照明光学系は、照明光を軟X線と可視光もしくは紫外光に切り替える手段を具備することを特徴としている。

【0026】請求項16に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、請求項1から請求項15のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡において、前記照明光学系を複数備え、異なる波長をもつ複数の照明用光束は、それぞれが前記結像光学系を構成する凹面鏡に複数設けられた異なる開口部を通過して試料上に入射することを特徴としている。

【0027】請求項17に記載の発明に係わる反射型軟X線顕微鏡では、請求項1から請求項16のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡の結像光学系は、シュバルツシルド光学系であることを特徴としている。

【0028】請求項18に記載の発明に係わるマスク検査装置では、請求項1から請求項17のいずれかに記載の反射型軟X線顕微鏡により、軟X線縮小投影露光に用いられる反射マスクを、軟X線縮小投影露光で使用される波長の軟X線を用いて検査することを特徴としている。

【0029】請求項19に記載の発明に係わるマスク検査装置では、請求項18に記載のマスク検査装置において、反射光、回折光もしくは散乱光の強度を検出しながら試料上を走査し、検出強度の変化した領域で画像を取得することを特徴としている。

【0030】請求項20に記載の発明に係わるマスクの製造方法では、基板上に軟X線を反射する多層膜を有する反射膜を形成する第1工程と、該反射膜上に軟X線を吸収する遮光膜を形成する第2工程と、さらに該遮光膜上にレジスト層を形成する第3工程と、該レジスト層に所望の反射もしくは遮光パターンを露光する第4工程と、前記レジスト層を現像して前記パターンを形成する第5工程と、前記現像されたレジスト層を保護膜として前記遮光膜をエッチングする第6工程を少なくとも具備して、前記パターンを基板上に形成する反射マスクの製

造方法であって、基板上に反射膜を形成する第1工程、レジスト層を現像して反射もしくは遮光パターンを形成する第5工程、および遮光膜をエッチングして前記パターンを形成する第6工程のうち、少なくとも1つ以上の工程において、請求項19に記載のマスク検査装置を用いて、前記反射膜を形成する多層膜の位相欠陥や多層膜上の異物、レジスト層あるいは反射マスクに形成された反射もしくは遮光パターンの欠陥を検査する作業を具備することを特徴としている。

【0031】請求項21に記載の発明に係わるマスクの製造方法では、基板上に軟X線を反射する多層膜を有する反射膜を形成する第1工程と、該反射膜上にレジスト層を形成する第2工程と、該レジスト層に反射もしくは遮光パターンを露光する第3工程と、前記レジスト層を現像して前記パターンを形成する第4工程と、前記現像されたレジスト層を保護膜として、レジスト層が被覆されていない部分に軟X線を吸収する無機化合物もしくは有機化合物あるいは有機物・無機物化合物の遮光膜を成膜する第5工程を、少なくとも具備して、前記パターンを基板上に形成する反射マスクの製造方法であって、基板上に反射膜を形成する第1工程、レジスト層を現像して反射もしくは反射防止パターンを形成する第4工程、および遮光膜を前記パターン状に成膜する第5工程のうち、少なくとも一つ以上の工程において、請求項19に記載のマスク検査装置を用いて、前記反射膜を形成する多層膜の位相欠陥や多層膜上の異物、レジスト層あるいは反射マスクに形成された反射もしくは遮光パターンを検査する作業を具備することを特徴としている。

【0032】

【発明の実施の形態】以下に図を用いて、本発明の実施の形態を詳細に説明する。図1は本発明の反射型軟X線顕微鏡の原理を示す概略図である。本発明の反射型軟X線顕微鏡は、結像光学系を構成する凸面鏡1と、凹面鏡2と、画像検出器4とを具備している。図1に示すように、凹面鏡2には、照明光5が光学系で遮られるのを避けるために開口部8が設けられ、試料3はその表面が結像光学系の光軸0に対して垂直になるように配置されている。前記配置をとることにより、図4に示した従来の反射型軟X線顕微鏡のように試料3を傾けることなく試料3の反射像を観察することが可能となった。

【0033】ここで、照明光5は前記開口部8を通過し、試料（反射マスク）3で反射されて反射光6となり、凹面鏡2に導かれる。照明光5と、試料3で反射した反射光6は、光軸0に対して対称な位置を通るので、凸面鏡1に遮られることはない。試料3の表面で反射した反射光6は、さらに凹面鏡2と凸面鏡1で反射され、凹面鏡2の中央に設けられた開口部7を通過して、画像検出器4上に結像する。

【0034】凸面鏡1と凹面鏡2の反射面は、所定の波長の軟X線を反射するために、多層構造の反射膜が形成

されており、例えば、Mo（モリブデン）とSi（シリコン）の交互積層多層膜や、MoとSiC（炭化ケイ素）の交互積層多層膜や、Ru（ルテニウム）とSiの交互積層多層膜などが用いられる。また、凹面鏡2には、図2に示すように、照明光5を通す開口部8と、結像光学系の開口数（NA）を決定する絞り9と、凸面鏡1で反射した反射光を通す開口部7が設けられている。照明光5を通す開口部8と絞り9は、光軸0（凹面鏡2の中心）に対して対称の位置に配置されている。絞り9は、前記多層反射膜で構成されており、その形成方法は請求項4に示したように、凹面鏡2の全面に前記多層反射膜を成膜して、その上に絞りとなる開口部を残してMo薄膜等の遮光膜を形成しても良いし、また、請求項5に示したように、絞りの開口部となる部分のみに前記多層反射膜を形成しても良い。（何も成膜していない基板表面では、軟X線は反射しない。）さらにまた、請求項6に示したように、試料3と前記多層反射膜を表面に成膜した凹面鏡2との光路上に、絞りとなる開口部を備えた遮光性材料の基板または遮光性材料を被覆した基板を配置してもよい。以上のような構成により、試料からの反射像を検出することができる。

【0035】凹面鏡2に設置される、照明光5を通すための開口部8は、照明光5を遮らないように設けることができればどんな形でも構わない。例えば、図3に示すように、凹面鏡2を半円形にして、素通しの部分に照明光5の通過する領域108を設けても構わない。

【0036】またここで、試料3を暗視野像で観察する場合には、請求項12で示したように試料3と凹面鏡2との間に、前記試料3表面で反射した反射光6を遮るような遮光部材を配置しても良い。このように遮光部材を置くことにより、反射光6はカットされ、試料3からの散乱光や回折光による像を画像検出器4で検出することができる。この際、反射光6が結像に寄与しない構成にすればよいので、上述のように光路中に遮光部材を配置するかわりに、凹面鏡2の全面に前記多層反射膜を成膜して、反射光6があたる部分にだけ前記反射光6を吸収して反射しない物質で遮光膜を形成してもよい。（請求項10）あるいは、前記反射光6があたる部分だけ前記多層反射膜を除去する構成にしてもよい。（請求項11）また、画像検出器4には、軟X線に感度のあるCCD（Charge Coupled Device）、MCP（Micro Channel Plate）、X線フィルムや、輝尽性蛍光体を用いた放射線像変換パネルなどを用いることができる。また、光電変換面で軟X線画像を電子画像に変換して、電子レンズで像を拡大して蛍光面に像を表示するズーム管（浜松フォトニクス社製）なども用いることもできる。ズーム管を用いる場合には、ズーム管で像を拡大することができるので、結像光学系の倍率をそれほど高くする必要はない。また、ズーム管で拡大倍率を変えた観察を行うこともできる。

【0037】以上のように、本発明では、反射光による明視野像の観察と、散乱光あるいは回折光による暗視野像の観察のいずれも可能である。その結果、反射マスクの検査において、多層膜の位相欠陥や、反射もしくは遮光パターン欠陥等の検査の場合には明視野像を用い、多層膜やレジスト層にある異物等の検査には暗視野像を用いることができる。次に、本発明による反射型軟X線顕微鏡方式マスク欠陥検査装置を利用した、反射マスクの製造工程を図8に示す。

【0038】まず、低熱膨張ガラスからなる基板を所定の寸法、形状に加工する。その表面は、所定の平坦度、表面粗さに研磨加工される。次に、その上に所定の波長の軟X線を反射するMo/Si等の多層膜を形成する。該多層膜は、スパッタリングや真空蒸着などの薄膜形成法によって成膜されるが、基板上の傷、成膜前あるいは成膜中の異物の混入、成膜後の異物の付着などにより欠陥を生じることがある。そこで、本発明による明視野像用または暗視野像用のマスク検査装置を用いて欠陥の検査を行う。その結果修正可能な程度の欠陥であれば修正が行なわれる。

【0039】たとえば、基板上の傷、成膜前あるいは成膜中の異物の混入による欠陥の場合は、あらかじめ設定された許容寸法以下ならば、前記成膜された薄膜上にさらに多層膜を形成して平坦化することも可能である。また、成膜後の異物の付着であれば超音波洗浄などによって物理的に除去する。

【0040】次に、スパッタリング等の薄膜形成法により、Cr、TiN、NiSi、Ti、Ta、Ta₂N、TaSiN、Al等からなる遮光膜を前記反射膜の上に形成する。

【0041】さらに、前記遮光膜上にフォトリジストを塗布し、電子ビーム描画装置等により所定のパターンを露光し、現像してレジストのパターンを形成する。この際、レジストパターンの欠けや余剰などの欠陥が生じる可能性がある。そこで、本発明による明視野像用のマスク検査装置を用いて欠陥の検査を行う。もしレジストパターンの余剰欠陥があれば、レーザー光、電子ビームやイオンビームなどのエネルギービームを集束して照射することにより、レジストパターンの一部を選択的に除去して修正することができる。また、レジストパターンの欠け欠陥がある場合には、該欠陥個所に炭化水素ガスを供給して炭化水素ガス雰囲気を形成しておき、そこへ前記電磁波を照射するとことにより、選択的に有機薄膜を形成することができる。

【0042】最後に、レジストパターンをマスクとして、ドライエッチング等の手法により遮光膜を選択的にエッチングして除去して、遮光パターンを形成する。この際にも、遮光パターンの欠けや余剰などの欠陥を生じることがある。そこで、本発明による明視野像のマスク欠陥検査装置を用いて欠陥の検査を行う。もしここで、

遮光パターンの欠陥があれば、Ga等の集束イオンビームを用いて修正を行う。前記欠陥が遮光パターンの余剰欠陥の場合、前記イオンビームを照射することにより、選択的に余剰部分を除去することができる。この時遮光膜の種類により必要があれば、欠陥個所近傍にフッ素系の反応ガスを供給して前記イオンビームを照射することにより、選択的に余剰部分を除去することができる。また、欠陥が遮光パターンの欠けの場合には反応ガスとしてWF₆などを選択することにより、その雰囲気中でイオンビーム照射して遮光膜を部分的に形成することができる。

【0043】以上の工程により、軟X線縮小投影露光用の反射マスクを製造する。さらにまた、本発明による反射型軟X線顕微鏡方式マスク欠陥検査装置を利用した、別の反射マスク製造工程を図9に示す。

【0044】まず、低熱膨張ガラスからなる基板を所定の寸法、形状に加工する。その表面は、所定の平坦度、表面粗さに研磨加工される。次に、その上に所定の波長の軟X線を反射するMo/Si等の反射膜を形成する。該反射膜は、スパッタリングや真空蒸着などの薄膜形成法によって成膜されるが、基板上の傷、成膜前あるいは成膜中の異物の混入、成膜後の異物の付着などにより欠陥を生じる可能性がある。そこで、本発明による明視野像または暗視野像のマスク検査装置を用いて欠陥の検査を行う。修正可能な欠陥であれば前述のようにして同様の修正を行う。

【0045】その上にフォトリソを塗布し、電子ビーム描画装置等により所定のパターンを露光し、現像してレジストのパターンを形成する。この際、レジストパターンの欠けや余剰などの欠陥を生じる可能性がある。そこで、本発明による明視野像のマスク検査装置を用いて欠陥の検査を行う。もしここで欠陥があれば、前述のようにして同様の修正を行う。

【0046】最後に、レジストパターンを鋳型として、メッキ法によりNi等からなる遮光膜を選択的に形成して、遮光パターンを形成する。この際にも、遮光パターンの欠けや余剰などの欠陥を生じる可能性がある。そこで、本発明による明視野像のマスク欠陥検査装置を用いて欠陥の検査を行う。もしここで欠陥があれば、前述のようにして同様の修正を行う。以上の工程により、軟X線縮小投影露光用の反射マスクを製造する。

【0047】

【実施例】図5に本発明の実施例である反射型X線顕微鏡の構成図を示す。本反射型X線顕微鏡は、同心球面形状の凹面鏡2と凸面鏡1からなるシュバルツシルド光学系の結像光学系と、軟X線を発生させるレーザプラズマ光源とフィルター17と集光反射鏡11とを有する照明光学系と、観察試料3を載置し移動させる試料ステージ10と、画像検出器4とを具備している。

【0048】前記レーザプラズマ光源は、まず、N

d: YAGレーザー光源12から発生させた波長1.06 μ mのパルスレーザー光を、レンズ13で集束して、窓14を介して第一の真空チャンバー30内に設置されたターゲットに照射し、プラズマ15を発生させることにより、軟X線を発生させることができる。

【0049】ターゲットにはTa(タンタル)製のテープターゲットを使用し、テープレコーダーと類似した機構のテープターゲット連続供給機構16によりターゲットが連続的に供給される。前記ターゲット表面に前記の強いパルスレーザー光が集光して照射されると、アブレーションによりターゲット表面の物質が蒸発し、それがレーザー光の電場により電離されてプラズマ15が発生する。このプラズマ15からの輻射の中には軟X線が含まれており、軟X線光源として利用できる。なお、波長13nmの軟X線は、空気中では吸収されて減衰してしまうので、軟X線の通過する光路は全て真空としてある。本実施例ではテープターゲット方式のレーザプラズマ光源を採用したが、本発明はこれに限定されるものではなく、板状、ワイヤ状のターゲットを用いても良いし、ガスや液体や微粒子などのターゲットを用いることもできる。また、レーザプラズマ光源の代わりに、放電プラズマ光源やX線レーザー光源を用いても良い。

【0050】前記レーザプラズマ光源から発生した光束は、フィルター17を通過し、真空パイプ32を通過した後、第二の真空チャンバー31の中に設置された集光反射鏡11で集束されて、シュバルツシルド光学系の凹面鏡2に設けられた開口部8を通過して、試料3の表面を照明する。集光反射鏡11の表面には、所定の軟X線を反射するための多層反射膜が形成されている。

【0051】レーザプラズマ光源からは、所望の波長以外の軟X線や、紫外線、可視光も発生するが、フィルター17と集光反射鏡11およびシュバルツシルド光学系を構成する多層反射膜反射鏡により、所望の波長の軟X線だけを選択する。本実施例では、波長13nmの軟X線で観察するために、フィルター17にBe(ベリリウム)を用い、多層反射膜にはMoを2.2nmとSi 4.5nmを50層ずつ交互に積層し、最上層をSiとした多層膜を用いた。Beは可視光や紫外線は遮断し、BeのK吸収端(11.1nm)の長波長側の軟X線を良く透過する。Mo/Siの多層膜は、SiのL吸収端(12.3nm)の長波長側で高い反射率を示す材料として良く知られており、所望の波長13nmの軟X線をよく反射する。

【0052】第二の真空チャンバー31の中には、集光反射鏡11、シュバルツシルド光学系鏡筒19、試料ステージ10などが設けられている。第一の真空チャンバーと第二の真空チャンバーには、ロータリーポンプとクライオポンプからなる真空排気系(不図示)がそれぞれ設けられている。

【0053】試料3を照明した照明光5は、前記試料3

の表面で反射されて反射光6となり、シュバルツシルド光学系を構成する凹面鏡2と凸面鏡1でさらに反射した後、凹面鏡2の中央に設けられた開口部7を通して画像検出器4上に結像する。

【0054】本実施例で用いたシュバルツシルド光学系は、倍率が100倍、開口数(NA)は0.12で、試料側(縮小側)で直径約50 μ mの視野を観察することができる。各反射鏡の反射面には、波長13nmの軟X線を反射するためのMo/Si多層膜が形成されている。したがって本光学系は、70nm以下の解像力を有することになる。なお、本実施例では結像光学系にシュバルツシルド光学系を用いたが、本発明は同心球面鏡からなる狭義のシュバルツシルド光学系に限定されない。凹面と凸面の二枚のミラーで構成される結像系に適用可能である。例えば、凹面、凸面のどちらか一方、もしくは両方に非球面を用いても良い。

【0055】シュバルツシルド光学系の凹面鏡2には、照明光5を通過させる開口部8と、凸面鏡1で反射した反射光を通過させる開口部7と、絞り9が設けられている。この絞り9により光学系のNAが決定される。絞り9は、前述のようにMo/Si多層膜の上に、開口部だけを残して厚さ100nmのMo薄膜を形成することによって構成されているが、軟X線遮光膜の材料は軟X線を遮光できる材料であればよく、特にMoに限られるわけではない。また、絞り9の開口部だけにMo/Si多層膜を形成する方法を用いても差し支えない。

【0056】シュバルツシルド光学系の凸面鏡1を支持する支柱18は、図6に示すように、照明光5の通過する領域105と、試料3で反射した反射光6が通過する領域106を遮らないように配置されている。凹面鏡2と凸面鏡1は、互いの位置関係を調整した上で、鏡筒19に固定されている。

【0057】試料ステージ10は、試料3を面内で移動させて観察する領域を選択するためのX-Yステージである。試料ステージ10に搭載できる試料3の寸法は、最大230mm \times 230mmであり、この寸法の試料3における表面の任意の場所を観察することができるようになっている。なお、図示していないが、真空を破らずに試料を交換するための、試料搬送機構も設けられている。

【0058】画像検出器4には、軟X線に感度のある背面照射型CCD(Charge Coupled Device)を用いた。第一の真空チャンバー30と第二の真空チャンバー31を繋ぐ真空パイプ32の途中には、照明光を軟X線から可視光に切り替えられる機構も設けられている。可視光源20から発した光束は、窓21を介して真空中に導入され、反射鏡22で集光反射鏡11へ導かれる。なお、軟X線で観測するとき光束を遮らないように、反射鏡22は光路中に出し入れ可能な機構(不図示)が設けられている。集光反射鏡11とシュバルツシルド光学系

は可視光に対しても機能し、軟X線用のCCDは可視光にも感度があるので、照明光の波長を切り替えるだけで軟X線での観察と可視光での観察を行うことができる。レーザープラズマ光源からは可視光も放出されているので、こちらを可視光観察用の光源として利用することも可能であるが、ターゲットの消耗等を考慮すると、光源を切り替えた方が有利である。

【0059】以上説明してきた反射型軟X線顕微鏡を用いて、軟X線縮小投影露光に使用する反射マスクの観察を行った。この反射マスクの露光に使用する波長は、本反射型軟X線顕微鏡の観察波長と同じ13nmである。観察は、軟X線と可視光を切り替えながら行った。可視光で観察された欠陥(吸収体パターンの欠け、余剰、多層膜表面の凹凸)は全て軟X線でも観察することができた。一方、可視光では全く異常の見られない多層膜表面でも、軟X線で見ると明らかにコントラストの異なる領域が観察された。この部分は、軟X線の反射率が異なるため、この反射マスクを軟X線縮小投影露光に使用すると、当該部分は転写されてしまいパターンの欠陥となる。この部分を、他のより高性能な光学顕微鏡や走査型電子顕微鏡で観察してみたが、他の部分との違いを見出すことはできず、反射マスクの欠陥を露光波長と同じ波長の軟X線で検査することの有効性が示された。

【0060】なお、本実施例では13nmの波長の軟X線を用いたが、本発明はこの波長に限定されるものではない。例えば、波長11nm付近で使用する場合は、Mo/Si多層膜の代わりに、この波長域で高い反射率の得られるMo/Be多層膜を用いればよい。

【0061】また、上記の実施例では試料の反射像を観察する明視野の配置で行ったが、試料による回折光や散乱光を結像させる暗視野の配置で観察することも可能である。この場合には、図2に示す凹面鏡の、明視野像の場合に絞り9を設けた位置に遮光部を設けその周辺部に多層反射膜を形成しておけば、その他の構成は上記実施例と同様でよい。反射光6は遮光部によって遮られ、反射光6の周辺に広がった回折光あるいは散乱光のみが凹面鏡2へ入射して結像に寄与する。前記遮光部は、凹面鏡上に形成された多層反射鏡の上に遮光膜を設けることによって形成しても良いし、その部分だけを除いて多層反射膜を形成するようにしても良い。あるいは、試料3と凹面鏡2の間の光路中に遮光部材を設けても構わない。

【0062】さらにまた、上記の実施例ではシュバルツシルド光学系の凹面鏡に設けられた開口部は1ヶ所のみであったが、凹面鏡上に複数の開口部を備えても良い。図7に二つの開口部を備えた凹面鏡を示す。開口部40からは軟X線が導入され、他の開口部41からは可視光あるいは紫外光が照射される。このような配置にすることにより、観察波長の軟X線と、可視光あるいは紫外光の切替えが容易になる。また、上記複数の開口部のそれ

それぞれの開口部に異なる波長の軟X線を入射させることにより、同時に異なる波長の軟X線で観測することも可能になる。この場合、各々の開口部を通過して入射した軟X線が、試料上で反射した後で凹面鏡にあたる領域に、各々の波長の軟X線を反射する多層膜反射鏡を形成するようにすればよい。例えば図7において、開口部40から入射した軟X線が試料で反射した後に凹面鏡2に入射する領域42には、波長13nmの軟X線を反射するMo/Si多層膜反射鏡を形成しておく。一方、開口部41から入射した軟X線が試料で反射した後に凹面鏡2に入射する領域43には、波長11nmの軟X線を反射するMo/Be多層膜反射鏡を形成しておく。このような構成にすると、異なる複数の波長用に作られた反射マスクを1つの結像光学系で観察することができる。より具体的には、図7に示す上記の凹面鏡2を図5の反射型軟X線顕微鏡に用いる場合、波長13nm用の反射マスクを観察するときは開口部40から照明光5を入射するようにする。また、波長11nmの反射マスクを観察するときには、シュバルツシルド光学系鏡筒19を光軸の回りに回転させて、開口部41から照明光5を入射するようにすればよい。

【0063】このとき、それぞれの軟X線の反射光束が凸面鏡上にあたる領域にある多層膜反射膜も、それぞれの波長の軟X線を反射する多層膜で形成しておく。また、必要であれば軟X線の波長を変えるために、レーザープラズマ光源のターゲット材料を変えたり、集光反射鏡11を交換してもよい。もし、前述の実施例のようにレーザープラズマ光源のターゲット材料にTa等の重金属が用いられているならば、このプラズマからは広い波長域にわたって軟X線が輻射されるので、集光反射鏡11に斜入射全反射ミラーを用いて広い波長域の軟X線を照明するようにすれば、ターゲット材料の交換や集光反射鏡11の交換は不要となる。このような集光反射鏡には、例えば、カークパトリックベイズミラーやヴォルターミラーなどを使用することができる。

【0064】さらに、本発明の反射型軟X線顕微鏡を用いて反射マスクの検査を行う場合、マスクのパターン領域は数十mmから百数十mm角の大きさがあるが、反射型軟X線顕微鏡の視野はせいぜい数十μm程度しかない。したがって、全面の軟X線画像を得ようとすると一枚のマスクを検査するのに要する時間は相当長くなることは明白である。そこで、本発明では軟X線画像の代わりに結像光学系へ入射する全軟X線の強度を測定しながら試料上を走査することによって、測定時間を大幅に短縮することができる。なぜならば、軟X線画像を得るためには、ある程度の積算時間が必要だが、結像光学系の視野内に入射する軟X線の強度のみを検出するのであれば、測定時間はずっと短くて済むからである。

【0065】ここで、遮光膜を形成する前の反射膜を検査する場合において、該反射膜の表面を走査して結像光

学系に入射する全軟X線強度を測定すると、前記反射膜に欠陥がなければ一定の強度の軟X線が検出される。ここでもしも、視野内に欠陥が現れると、検出強度が変化することになる。このようにして軟X線の検出強度の異常を検出したら、その位置での軟X線画像を得ることによって、多層膜の欠陥の位置、性状を明らかにすることができる。

【0066】また、レジストパターンや、反射あるいは遮光パターンが形成された後のマスクを検査する場合には、その表面を走査して結像光学系に入射する全軟X線強度を測定すると、マスクに欠陥がなくてもパターンの粗密によって検出強度は変化する。ここで、マスク上のパターン形状は既知であるので、あらかじめそのパターン形状によって生じる軟X線の強度変化を計算しておき、計算値と測定値の比較を行うことによってパターンの異常を検出することができる。このようにして異常を検出したら、その位置で軟X線画像を得ることによって、各パターンの欠陥の位置、性状を明らかにすることができる。

【0067】さらに、上記軟X線顕微鏡の結像光学系に入射する全軟X線強度を測定するためには、軟X線画像を得るためのCCDなどの画像検出器をそのまま使用することもできるが、該画像検出器の前にたとえばフォトダイオードなどの、空間分解能はないが感度の高い検出器を挿入するようにしても良い。このような強度を測定するための検出器は結像光学系の焦点位置に配置する必要はないので、結像光学系鏡筒19と画像検出器4の間の任意の空間に配置することができる。そして、全軟X線強度を測定する時だけ前記検出器を光路中に挿入し、軟X線画像を得るときには光路から退避するようにすればよい。

【0068】

【発明の効果】以上説明してきたように、本発明の反射型軟X線顕微鏡によれば、試料表面を結像光学系の光軸にほぼ垂直に配置して反射像や、散乱光あるいは回折光による像を観察することができるので、広い視野で高解像力の観察を実現することができる。

【0069】また、露光波長と同じ波長の軟X線で反射マスクの欠陥検査を行うことができるので、従来の技術では観察することのできなかった多層膜の位相欠陥等を精度良く発見することが可能になる。

【0070】さらに、本発明による反射マスクの製造方法によれば、従来は発見が困難であった反射マスクの欠陥を製造工程中に迅速に検出することができるので、検出された欠陥を修正することによって反射マスク製造の歩留まりを向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による反射型軟X線顕微鏡の原理を説明する図である。

【図2】本発明に用いられるシュバルツシルド光学系の

凹面鏡を示す図である。

【図3】本発明に用いられるシュバルツシルド光学系の凹面鏡を示す図である。

【図4】従来の反射型軟X線顕微鏡の概略図である。

【図5】本発明の実施形態である反射型軟X線顕微鏡の概略構成図である。

【図6】シュバルツシルド光学系の凸面鏡の支持方法を説明する図である。

【図7】本発明に用いられるシュバルツシルド光学系の凹面鏡を示す図である。

【図8】本発明による反射マスクの製造工程を説明する図である。

【図9】本発明による反射マスクの別の製造工程を説明する図である。

【主要部分の符号の説明】

0・・・シュバルツシルド光学系の光軸

1・・・凸面鏡

2・・・凹面鏡

3・・・試料（反射マスク）

4・・・画像検出器

5・・・照明光

6・・・試料で反射した反射光

7・・・凸面鏡で反射した光束を通過させる開口部

8・・・照明光を通過させる開口部

9・・・絞り

10・・・試料ステージ

11・・・集光反射鏡

12・・・Nd：YAGレーザー

13・・・レンズ

14・・・窓

15・・・プラズマ

16・・・テープターゲット連続供給機構

17・・・ベリリウムフィルター

18・・・凸面鏡支持支柱

19・・・シュバルツシルド光学系鏡筒

20・・・可視光光源

21・・・窓

22・・・平面反射鏡

30・・・第一の真空チャンバー

31・・・第二の真空チャンバー

32・・・真空パイプ

40・・・照明光を通過させる開口部

41・・・照明光を通過させる開口部

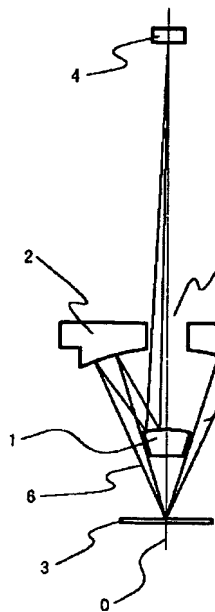
42・・・絞り

43・・・絞り

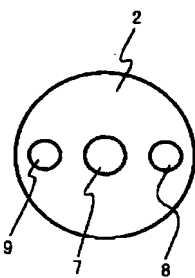
105・・・照明光が通過する領域

106・・・試料で反射した光束が通過する領域

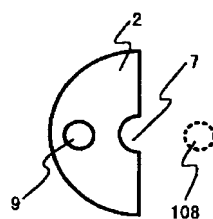
【図1】



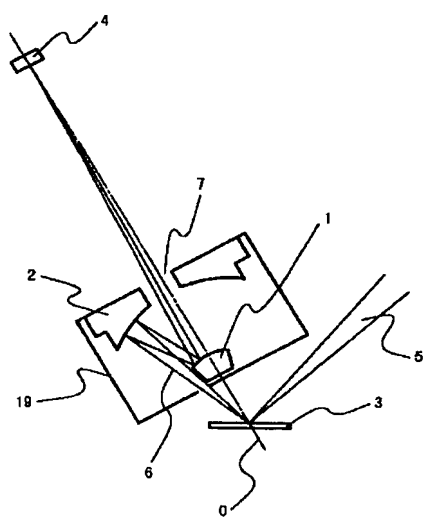
【図2】



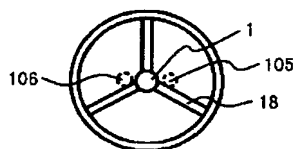
【図3】



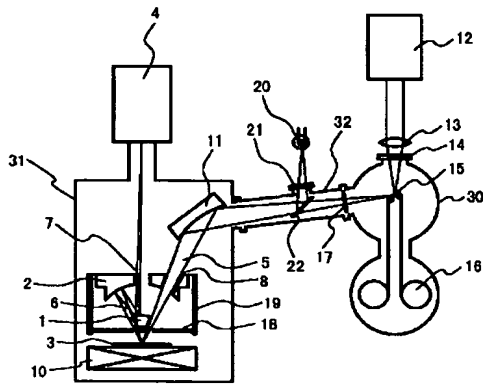
【図4】



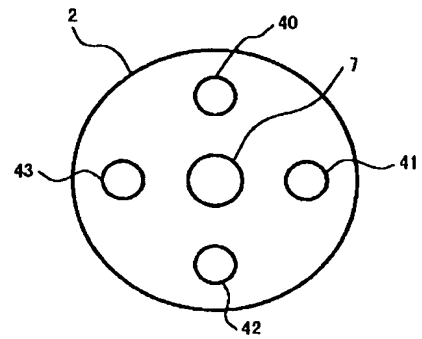
【図6】



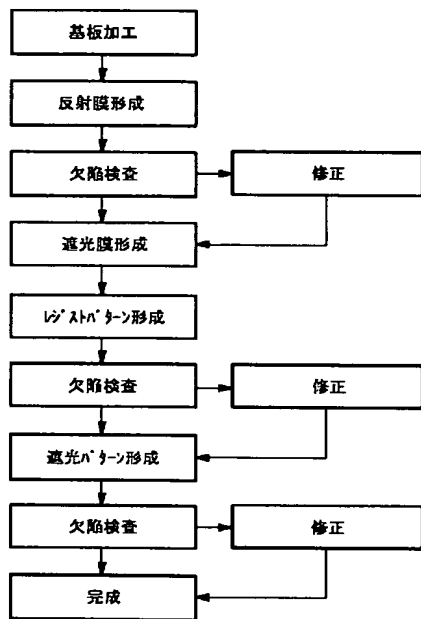
【図5】



【図7】



【図8】



【図9】

